**Создание научно-технического задела и экспериментальных образцов высокоэффективных двухфазных систем охлаждения с естественной циркуляцией для космических и транспортных приложений**

Соглашение **№ 14.616.21.0016** в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса на 2014-2020 годы»

**Приоритетное направление**: «Транспортные и космические системы»

**Период выполнения:** 26.09.2014- 31.12.2016

**Исполнитель:** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук.

**Иностранный партнер:** Institut Universitaire des Systèmes Thermiques Industriels, Université Aix-Marseille, CNRS, Marseille, France

**Цели выполнения прикладных научных исследований**

Создание научно-технического задела, разработка и создание экспериментальных образцов высокоэффективных двухфазных систем охлаждения с естественной циркуляцией для космических и транспортных приложений. Развитие сотрудничества с иностранным партнером.

В ходе выполнения проекта по Соглашению о предоставлении субсидии от 26.09.2014г. **№ 14.616.21.0016** с Минобрнауки России в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» на этапе № 1 в период с 26.09.2014 г. по 31.12.2014 г. выполнялись следующие работы:

1.1. Выполнен обзор и анализ современной научно-технической, нормативной, методической литературы, затрагивающей научно-техническую проблему, исследуемую в рамках настоящих прикладных научных исследований.

1.2. Проведены патентные исследования по ГОСТ 15.011-96.

1.3. Обоснованы и выбраны направления исследований.

1.4. Разработана модель процесса конденсации неподвижного пара в конденсаторе с продольными криволинейными ребрами с отсосом конденсата из межреберного пространства с учетом капиллярных сил и сил гравитации.

1.5 Оснащена экспериментальная установка для исследования испарения и теплообмена в динамическом мениске

1.6. Проведен анализ влияния уровня заполнения межреберных впадин на интенсивность конденсации.

1.7. Проведен анализ влияния характеристик различных покрытий поверхностей на удлинение мениска.

1.8 Создана экспериментальная установка с микротермопарой для исследования температурных скачков в межфазной области.

1.9 Разработана и создана серия микротермопар малых размеров для исследования межфазной границы раздела. Разработан метод исследования межфазной границы раздела с помощью микротермопар.

1.10. Изучен опыт создания и использования крупных контуров тепловых труб партнера из Франции.

1.11. Принято участие в мероприятиях, направленных на освещение и популяризацию результатов.

1.12. Проведено теоретическое и численное моделирование неравновесных процессов с фазовыми превращениями в микросистемах в части постановки граничных условий с кинетическими коэффициентами для фазовых превращений для линейной задачи (выполнено иностранным партнером).

При этом были получены следующие результаты:

Сделанобзор и анализ современной научно-технической, нормативной, методической литературы, затрагивающей научно-техническую проблему, исследуемую в рамках настоящих прикладных научных исследований. Обзор включает 58 источников.

Проведены патентных исследований по ГОСТ 15.011-96. Наименование объекта: "Двухфазные системы охлаждения на основе контурных тепловых труб." Краткое описание объекта: Система охлаждения на основе контурной трубы с продольными криволинейными ребрами с отсосом конденсата из межреберных впадин. Установлено, что на 24.11.2014 г. исследуемый объект соответствует мировому уровню техники в заданной области. Охранных и иных документов в РФ, США, Японии, Китае и др. странах, которые будут препятствовать патентованию данного решения, не выявлено.

Обоснован и выбраны направления исследований.Выбранное направление исследований является перспективным. Исследуемый объект соответствует мировому уровню техники в заданной области техники. Проект главным образом будет направлен на получение фундаментальных основ по созданию испарителя с удлиненным мениском для тепловой трубы и создание конденсатора и контурной тепловой трубы.

Разработана модель процесса конденсации неподвижного пара в конденсаторе с продольными криволинейными ребрами с отсосом конденсата из межреберного пространства с учетом капиллярных сил и сил гравитации. Поставлена и решена задача о пленочной конденсации пара на различных криволинейных ребрах с учетом влияния гравитации. Выполнены расчеты конденсации водяного пара на ребре оптимизированной и полукруглой формы для различных наклонов ребра относительно направления вектора гравитации. Расчеты показали, что суммарный расход конденсата с ребра полукруглой формы уменьшается (на 25%) при изменении положения ребра относительно направления вектора гравитации, и при этом сдвигается точка «нуля» расхода, относительно которой конденсат течет в разные стороны. Для ребра оптимизированной формы такого сдвига нет. Вершина ребра с большой кривизной служит своеобразным «барьером» для течения. Происходит перераспределение жидкости на круглом ребре при наклоне оси ребра относительно вектора гравитации со сдвигом максимума толщины пленки, чего не наблюдается на оптимизированном ребре. Коэффициенты теплоотдачи с оптимизированных ребер значительно выше коэффициентов теплоотдачи с ребер полукруглой формы, поэтому ребра оптимизированной формы существенно более выгодны в производстве оребренных поверхностей. Модель процесса конденсации неподвижного пара в конденсаторе с продольными криволинейными ребрами с отсосом конденсата из межреберного пространства с учетом капиллярных сил и сил гравитации обеспечивает: верификацию расчетных алгоритмов и погрешность моделирования не более 10 %.

Оснащена экспериментальная установка для исследования испарения и теплообмена в динамическом мениске.Из средств Соглашения закуплены: виброизоляционная настольная система для размещения стенда, оптические компоненты для Шлирен метода, высокоточная оптическая система, источник света для высокоточной оптической системы.

Проведен анализ влияния уровня заполнения межреберных впадин на интенсивность конденсации. Величина уровня заполнения межреберных впадин существенно влияет на интенсивность конденсации в целом, однако не влияет на процесс конденсации на выпуклой части ребер. Поэтому при расчете режимных параметров работы конденсатора можно брать суммарный поток конденсата с выпуклой части ребер конденсатора для определения его производительности.

Проведен анализ влияния характеристик различных покрытий поверхностей на удлинение мениска. Для удлинения мениска необходим условием является хорошая смачиваемость подложки жидкостью. Причем созданное покрытие должно выдерживать тепловые нагрузки, возможные в тепловых трубках. Также необходимо чтобы покрытие гарантированно служило определенное требованиями время, т.е. требованиям износостойкости. При анализе существующих на данный момент множества технологий нанесения покрытия было выбрана так называемая технология Grafting, описанная в патенте Европейский патент EP 2 028 432 A1, 2009.

Создана экспериментальная установка с микротермопарой для исследования температурных скачков в межфазной области. В состав которой входят: 1. Рабочий участок. 2. Источник питания. 3. Микро-термопара с прецизионной подвижкой с шагом 1 мкм. 4. Контрольно-измерительная система (АЦП, термопары ). 5. Персональный компьютер. 6. Цифровая видеокамера. 7. Гониометр.

Разработаны и создана серия микротермопар малых размеров для исследования межфазной границы раздела. Разработан метод исследования межфазной границы раздела с помощью микротермопар. Созданные микротермопары малых размеров для исследования межфазной границы раздела имеют поперечный размер не более 4 микрон и обеспечивают проведение измерений с точностью не хуже 0.01 К.

Изучен опыт создания и использования крупных контуров тепловых труб партнера из Франции. Опыт создания и использования контурных тепловых труб партнера из Франции, а также опыт фирмы EHP будут в максимальной степени использованы при выполнении данного проекта. Опыт исследования в миниатюрных тепловых трубах также будет использован при выполнении проекта. Партнером будут предоставлены некоторые чертежи и консультации. Планируются визиты для обмена опытом в 2015-2016 гг.

Принято участие в мероприятиях, направленных на освещение и популяризацию результатов. Для освещения и популяризации результатов ПНИ, на 4 Международных и Всероссийских конференциях участниками проекта было сделано 5 докладов.

Иностранным партнером выполнено теоретическое и численное моделирование неравновесных процессов с фазовыми превращениями в микросистемах в части постановки граничных условий с кинетическими коэффициентами для фазовых превращений для линейной задачи.Целесообразность выполнения работы с иностранным партнером из Франции Institut Universitaire des Systèmes Thermiques Industriels состоит в том, что партнер обладает уникальным опытом в исследованиях тепломассообмена в условиях микрогравитации. Участвует в нескольких экспериментах по тепломассообмену и физике жидкостей в параболических полетах и является участницей подготовки более чем десяти экспериментов Европейского Космического Агентства и Французского Космического Агентства на Международной Космической Станции, а также участвует в программе исследований с использованием баллистических ракет. Prof. Tadrist является инициатором и координатором программы по кипению, испарению и теплообмену в ЕКА. Контакты с партнером дают доступ к уникальной информации и возможность участия в совместных исследованиях в условиях микрогравитации. IUSTI обладает значительным опытом создания контурных тепловых труб и изучением процессов в тепловых трубах, имеют контракты с индустрией по исследованиям тепловых труб. Обладают самым современным оборудованием для исследований тепломассообмена в двухфазных системах. Целый ряд научных результатов в проекте будет получен благодаря выполнению работ в международной кооперации. Будут проводиться совместные эксперименты и расчеты по испарению, где будут использованы методики, развитые в лаборатория IUSTI. Методики и know-how будут передаваться в ходе совместной эксплуатации экспериментальных стендов в Новосибирске. Партнер принял активное участие в теоретическом и численном исследовании межфазной области жидкость-пар при испарении и конденсации. В этих работах участвует Prof. Irina Graur. В коллаборации впервые в проекте будут исследованы переходные режимы течений с фазовыми превращениями, даны физические объяснения процессам, исследуемым в проекте. В Приложении А описаны работы выполненные с Prof. I. Graur. Данная задача тесно связана с п. 3.6 ТЗ , где предполагается проведение теоретических и экспериментальных исследований в области межфазной границы жидкость-пар в испарительной системе тепловой трубы с использованием кинетической теории (п. 1.8, п. 1.9, п. 1.12 ПГ, этап 1). Экспериментальный образец конденсатора, создаваемый в рамках проекта, для космических приложений будет испытан с помощью макета контурной тепловой трубы (LHP). При создании макета крупной контурной тепловой трубы будет использован опыт создания и использования таких контуров партнера (п. 1.10 ПГ, этап 1). Необходимые обсуждения состоялись в ходе визита проф. О.А. Кабова.

Получателем субсидии за отчетный период по 1 этапу выполнены все работы в соответствии с требованиями Технического задания, Плана-графика исполнения обязательств, требованиям по достижению значений показателей результативности, отчетная документация оформлена в надлежащем порядке. Обязательства, указанные в пункте 1.2 соглашения по 1 этапу исполнены надлежащем образом и в полном объеме.